



(72) GAUTHIER, Michel, CA

(72) LESSARD, Ginette, CA

(72) VASSORT, Guy, CA

(72) BOUCHARD, Patrick, CA

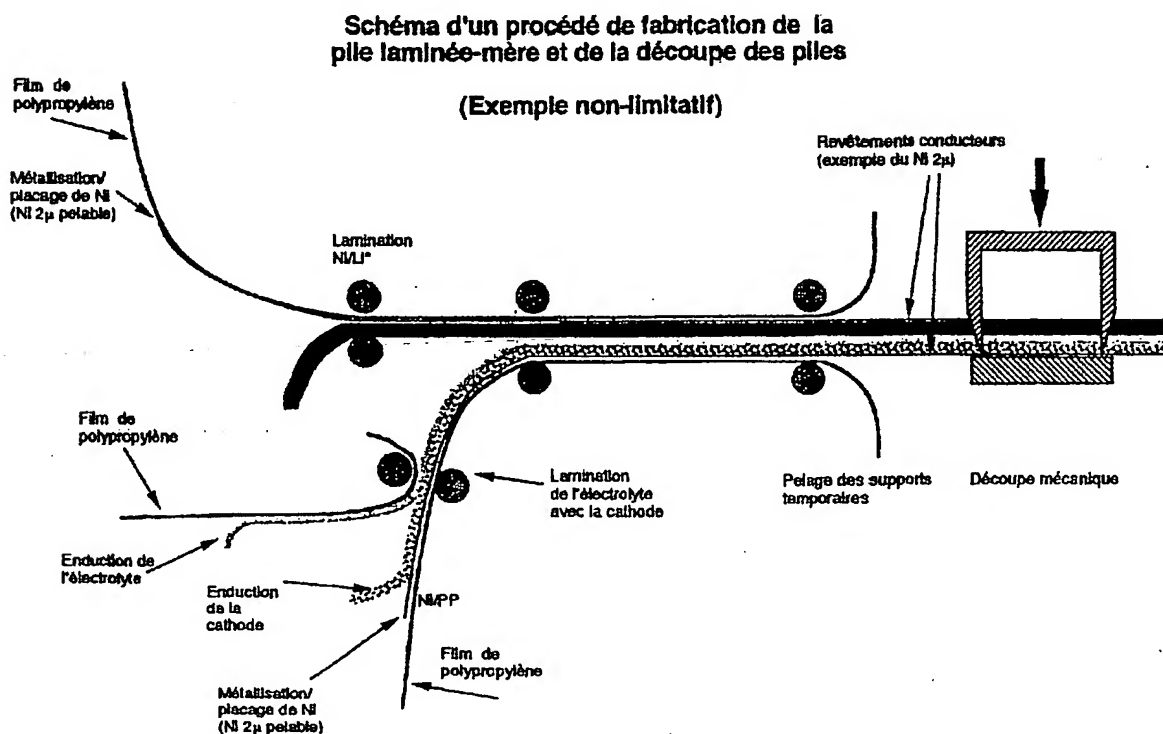
(72) VALLÉE, Alain, CA

(71) HYDRO-QUÉBEC, CA

(51) Int. Cl.<sup>6</sup> H01M 4/26

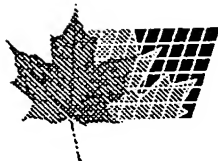
(54) **PILES AU LITHIUM ULTRA-MINCES ET A L'ETAT SOLIDE ET  
PROCEDE DE FABRICATION**

(54) **ULTRA-THIN SOLID LITHIUM BATTERIES AND  
MANUFACTURING PROCESS**



(57) On prend une pile-mère comportant au minimum les films suivants: une anode de lithium métallique, un électrolyte polymère conducteur des ions alcalins de l'anode et agissant également comme séparateur entre les électrodes, une cathode composite constituée d'un composé réductible au lithium ou au sodium, d'un additif

(57) Take a mother battery comprising at a minimum the following films: an anode of metallic lithium, a polymer electrolyte conductive of alkali ions of the anode and also acting as separator between the electrodes, a composite cathode consisting of a compound reducible by lithium or sodium, an electronic conduction additive



(21) (A1) **2,203,490**  
(22) 1997/04/23  
(43) 1998/10/23

de conduction électronique et d'un liant électrolyte polymère, un revêtement conducteur électronique mince sur la face externe de l'anode et, optionnellement de la cathode, dont le matériau conducteur est chimiquement inerte vis-à-vis du matériau d'électrode et qui sert également à établir les contacts électriques permanents sur les faces externes des piles découpées. On effectue ensuite une découpe mécanique à vif de ladite pile-mère laminée de plus grande surface et au moins partiellement chargée. On obtient des piles minces à électrolyte polymère et à anode de lithium ou de sodium. Les piles ainsi découpées conservent sensiblement leur voltage après la découpe mécanique.

and a polymer electrolytic binder, a thin electronic conduction coating on the outer surface of the anode and, optionally for the cathode, of which the conductive material is chemically inert with respect to the electrode material and which serves also to make permanent electrical contacts on the outer surfaces of the cutaway batteries. Next a live mechanical cutaway of the said laminated mother battery of the largest surface and at least partially charged. This produces thin batteries with polymer electrolyte and lithium or sodium anode. The batteries thus cutaway retain substantially their voltage after the mechanical cutaway.

## ABRÉGÉ DESCRIPTIF

On prend une pile-mère comportant au minimum les films suivants: une anode de lithium métallique, un électrolyte polymère conducteur des ions alcalins de l'anode et agissant également comme séparateur entre les électrodes, une cathode composite constituée d'un composé réductible au lithium ou au sodium, d'un additif de conduction électronique et d'un liant électrolyte polymère, un revêtement conducteur électronique mince sur la face externe de l'anode et, optionnellement de la cathode, dont le matériau conducteur est chimiquement inerte vis-à-vis du matériau d'électrode et qui sert également à établir les contacts électriques permanents sur les faces externes des piles découpées. On effectue ensuite une découpe mécanique à vif de ladite pile-mère laminée de plus grande surface et au moins partiellement chargée. On obtient des piles minces à électrolyte polymère et à anode de lithium ou de sodium. Les piles ainsi découpées conservent sensiblement leur voltage après la découpe mécanique.

## PILES AU LITHIUM ULTRA-MINCES ET À L'ÉTAT SOLIDE ET PROCÉDÉ DE FABRICATION

Les petites piles au lithium, rechargeables ou non, telles que les piles  
5 boutons et les piles plates sont généralement fabriquées par l'élaboration et  
la découpe des composantes individuelles qui sont par la suite assemblées.  
Dans certains cas, les piles ou leurs composantes sont élaborées sous forme  
de piles ou d'éléments multiples de dimension prédéterminée qui sont par la  
suite découpées dans des zones prévues à cet effet de façon à permettre la  
10 découpe locale sans dommages pour le dispositif électrochimique (brevet  
Murata et brevet Polaroid).

Dans la plupart de ces cas, les électrodes actives: lithium métallique  
et cathode composite, sont directement en contact avec le matériau  
15 d'emballage qui sert alors de barrière de protection et de collecteur de  
courant; souvent ces électrodes sont élaborées directement sur le matériau  
d'emballage par enduction ou par pressage. Cette combinaison de deux  
fonctions: barrière et collecteur sur un même matériau permet alors  
d'optimiser le poids et le volume de la pile complète.

20

Cette façon de faire possède cependant plusieurs inconvénients:

- le besoin de prédéterminer les dimensions et la position des  
25 éléments ou des piles lors de la fabrication d'éléments multiples à  
découper;
- les pertes en matériel et en optimisation associées aux  
débordements et au prépositionnement requis par les opérations de  
découpe et de scellement de l'ensemble du dispositif;
- les problèmes de positionnement des éléments les uns sur les  
30 autres lors de l'assemblage ou de la découpe;
- la surépaisseur requise pour qu'un même matériau puisse  
servir à la fois comme barrière étanche à l'air et à l'eau et comme  
collecteur. Cette surépaisseur devient particulièrement pénalisante  
dans les assemblages en série ou en parallèle, i.e., lorsque plusieurs

piles individuelles sont superposées pour développer le voltage ou l'ampérage voulu.

La présente invention concerne le désign d'une pile laminée de grande surface dont le design est particulièrement favorable à la fabrication de plus petits éléments par simple découpe directe du laminé ainsi que le procédé de fabrication des piles par découpe mécanique. La découpe mécanique d'une pile à électrolyte polymère en morceaux est a priori possible, toutefois il est généralement perçu que la découpe induit des courts-circuits et laisse des points faibles surtout lorsque cette opération est faite avec des moyens mécaniques (brevet découpe laser); ce que confirme indirectement les procédés plus complexes de découpe de piles existants (brevet Murata). On démontre dans la présente invention que l'anode de lithium métallique possède une effet surprenant d'auto-cicatrisation (self-healing) qui facilite la découpe en petits éléments avec un taux de rejet faible ou nul et qui ne laisse pas de points faible électrochimiquement comme illustré à partir du cyclage électrochimique de piles ainsi découpées. Ce mécanisme résulte de la dissolution chimique ou électrochimique du lithium métallique lorsque mis en contact avec le matériau de la cathode et/ou de la formation d'un film de passivation isolant électronique. L'invention n'est pas dépendante du mécanisme exact à l'origine du phénomène d'auto-cicatrisation.

Les caractéristiques principales de l'invention sont:

- la production d'une pile laminée de grande surface décrite à la Figure 1, dont l'anode est constituée principalement de lithium métallique, le séparateur d'un électrolyte polymère gélifié ou non et la cathode d'un matériau composite lié par un électrolyte polymère; l'anode étant recouverte d'un revêtement conducteur mince, inerte au lithium tel que le nickel métallique; la cathode composite comportant préférentiellement un conducteur électronique en surface qui peut être une couche composite à base de carbone ou d'une autre charge conductrice électronique ou d'un revêtement métallique. Les

5 revêtements conducteurs externes étant choisis minces, préférentiellement inférieurs à 5 micromètres, de façon à les rendre négligeables vis-à-vis de l'épaisseur de la somme des autres composantes du laminé et de façon à garder l'ensemble souple et facile à manipuler. Ces collecteurs sont préférentiellement inertes vis-à-vis des électrodes avec lesquelles ils sont en contact pour assurer la qualité des contacts électriques. De façon optionnelle, ces revêtements peuvent être plus ou moins adhérents de façon à faciliter le positionnement des piles individuelles ou multiples découpées lors de leur assemblage en générateur complet. Les différentes composantes de la pile laminée sont soudées ensemble mais l'ensemble conserve une certaine flexibilité due à la nature plastique du lithium, de l'électrolyte polymère et des minces revêtements conducteurs. On notera que les opérations de pelages indiquées sur la Figure 1 peuvent être effectuées avant l'assemblage/transfert de la pile laminée. Une variante intéressante du procédé de la Figure 1, consiste à stocker ce laminé de façon temporaire avant l'opération de découpe; pour des raisons de sécurité il est alors préférable d'introduire des discontinuités dans la production de l'une des deux électrodes, surtout de la cathode et/ou de son revêtement conducteur de façon à limiter la surface en jeu lors du court-circuit temporaire résultant de la découpe surtout lorsque le système électrochimique est optimisé pour fonctionner à la température ambiante; seule une section du rouleau de laminé est alors court-circuitée, les autres sections étant isolées électriquement.

- la découpe à vif de la pile laminée-mère par des moyens mécaniques, de façon à obtenir des piles de plus petite surface: soit des bandelettes transversales à la pile laminée, soit des petits éléments entièrement découpés sur leur périphérie. Au besoin, on attendra un temps minimum pour laisser les piles s'auto-cicatriser complètement et se stabiliser en voltage de façon à pouvoir effectuer un contrôle de qualité de tous les éléments. La Figure 2 illustre l'effet de la coupe sur les bords de la pile qui deviennent inaccessible pour des prises de

contact latérales. Seules les faces externes sont alors accessibles pour la prise de contact. Pour faciliter ces contacts, notamment du côté de l'anode (oxydation du  $\text{Li}^0$ ), on utilise un mince revêtement conducteur inerte qui assure la qualité du contact électrique et isole physiquement le matériau d'électrode des autres piles ou du matériau d'emballage. On entend par revêtement inerte vis-à-vis des électrodes, des matériaux dont les propriétés de conduction électronique ne sont pas modifiées par réaction chimique avec le matériau actif de l'électrode correspondante et qui par conséquent, isolent chimiquement le matériau d'électrode des matériaux externes avec lesquels le revêtement conducteur est en contact, notamment avec le matériau de l'emballage. De façon non limitative, deux types de revêtements sont illustrés à la Figure 2: i, ii et iii. Un revêtement métallique mince, dans ce cas un nickel de 2 m d'épaisseur, et deux exemples de revêtements composites; l'un constitué de C et d'un liant inerte et non-conducteur stable en oxydation tel que l'EPDM ou le PVDF et utilisé à la cathode; l'autre constitué d'une poudre de nitrure de bore conducteur métallique et d'un liant stable en réduction tel que l'EPDM. Divers composés inertes au lithium et conducteurs peuvent satisfaire ces deux critères, notamment les carbures, nitrures et borures métalliques. Dans certains cas, il est préférable de limiter la conductivité latérale de la composite positive et de son revêtement composite conducteur de façon à limiter le courant de court-circuit temporaire à la découpe, notamment dans le laminé-mère de grande surface afin de préserver l'état de charge et pour des raisons de sécurité lorsque les électrolytes polymères sont optimisés pour les fortes puissances de décharge.

- l'assemblage lorsque requis des piles individuelles en parallèle, par pliage en zigzag, ou en série, par la superposition des piles, individuelles ou montées en parallèle; les revêtements conducteurs des électrodes assurant les contacts électriques entre les unités, tel qu'illustré, à titre d'exemple, à la Figure 3.
- la mise en boîtier unique des piles ou des ensembles de piles série/parallèle rendue possible par le fait que toutes les composantes

5 sont à l'état solide ce qui évite les effets de corrosion locale notamment pour les montages en série; le scellement de l'ensemble électrochimique et des matériaux d'emballage en utilisant au besoin les matériaux métallique barrière comme collecteur de l'ensemble du dispositif électrochimique. De façon optionnelle, on prendra profit de l'adhésion des revêtements conducteurs des électrodes pour assurer le positionnement de la ou des piles dans le boîtier.

#### Les avantages de l'invention:

10

Les avantages de l'invention sont multiples tant sur le plan de la simplification des procédés de fabrication que de l'optimisation des performances électrochimiques et des designs obtenus:

15

- L'invention utilise une pile laminée-mère produite en bande continue par des procédés d'enduction et de transfert qui ne nécessitent pas de zone particulière pour faciliter la découpe: zones masquées, enduction de motif d'électrode et d'électrolyte, transfert d'éléments discontinus tels que des feuillards de lithium, ni de zones en retrait sur le collecteur dans le cas où ce dernier sert également de matériau d'emballage et de support au scellement. La production de la pile-mère est donc simple et rapide et ne cause pas un taux de rejet important à la découpe.

20

- L'usage de revêtements conducteurs électroniques, minces et inertes chimiquement vis-à-vis des électrodes permet d'optimiser l'énergie massique et volumique malgré la superposition de ces derniers lorsque les piles sont pliées en zigzag, facilite l'opération de découpe et sépare physiquement les électrodes réactives des parois de l'emballage tout en permettant des contacts électriques stables en fonction du temps.

30

- Les propriétés de self-healing du lithium démontrées dans cette invention permettent une production rapide des piles par découpe mécanique de la pile laminée-mère avec un taux de rejet très faible ou nul. La fiabilité du processus en jeu est telle que l'on peut



ainsi fabriquer des piles qui sont rechargeables. On démontre en plus la possibilité de neutraliser complètement la zone de découpe par réaction chimique du lithium de l'arête découpée avec des gaz ou solvants réactifs au lithium.

- 5       • L'usage de support plastique temporaire et pelable lors de la préparation des électrodes utilisées au départ pour la fabrication de la pile-mère laminée facilite la manipulation de la pile laminée jusqu'à l'opération de découpe et de mise en sachet.
- 10       • La combinaison des propriétés de flexibilité de la pile découpée, de l'état solide de l'électrolyte et de la minceur des revêtements conducteurs permet de fabriquer dans un même boîtier une infinité de combinaisons parallèle-série et de développer la surface en jeu et le voltage de l'ensemble pour adapter les performances du générateur à un grand nombre d'applications à partir
- 15       d'une pile laminée-mère unique.

Dans les dessins qui illustrent l'invention,

- 20       la figure 1 est un schéma de la pile laminée-mère;
- la figure 2 donne des exemples de piles découpées mécaniquement à l'emporte-pièce;
- la figure 3 donne des exemples de piles produites par empilement;
- la figure 4 est une illustration du procédé de fabrication du  $\text{Li}^\circ$  et de son revêtement nickel;
- 25       la figure 5 est un exemple de procédé de laminage de la pile laminée-mère;
- la figure 6 est une illustration du procédé de découpe de piles à l'emporte-pièce,
- la figure 7 est une illustration du procédé de découpe de pile en
- 30       bandelettes;
- la figure 8 donne des exemples de piles découpées mécaniquement;
- la figure 9 donne des exemples de piles emballées à voltage unitaire et à voltage multiple; et

la figure 10 est une courbe de l'utilisation en % par rapport au nombre de cycles d'une pile découpée mécaniquement à 25°C.

### Exemple 1

5

Les illustrations suivantes montrent:

La façon de réaliser un revêtement conducteur de nickel adhérent sur un mince feuillard de lithium, Figure 4, l'ensemble étant obtenu par laminage d'un feuillard de lithium supporté sur plastique selon l'enseignement des brevets Li sur support pelable et laminage du lithium (US Pat.....) avec un feuillard de nickel mince de 2 micromètre ( $\mu\text{m}$ ) supporté sur un support plastique pelable.

10

La façon d'obtenir la pile laminée en continu à partir d'une demi-pile: Cathode/Electrolyte polymère par transfert. Figure 5.

15

La façon de découper des piles de petite surface à partir de la pile laminée à l'aide d'un emporte-pièce; Figures 6.

La façon de découper des piles en bandelettes à partir de la pile laminée à l'aide d'un couteau rotatif: figure 7.

20

Des exemples de formats de piles découpées à partir du laminé-mère: figure 8.

La façon d'empiler en série des piles unitaires ou en zigzag lorsque l'on veut développer une surface effective supérieure à celle de la pile emballée et un voltage multiple d'une cellule unitaire; Figures 8 et 9.

25

Des exemples de piles emballées à voltage unitaire et à voltage multiple: Figure 10.

### Exemple 2

A partir des éléments illustrés aux Figures 4 à 6 on découpe à l'emporte-pièce 24 piles individuelles de forme rectangulaires dont on contrôle le voltage de chacune. Deux cas sont étudiés, dans le premier, on refroidit au préalable la pile laminée à l'azote liquide avant de l'introduire dans l'emporte-pièce, de façon à durcir l'électrolyte à une température inférieure à celle de sa transition vitreuse; dans le second cas, on effectue la

découpe à la température ambiante. Les résultats sont sensiblement les mêmes. Les valeurs trouvées pour les piles découpés à la température ambiante sont rapportés au Tableau I. On peut constater que le taux de rejet est très faible et que les piles maintiennent un voltage très similaire à celui du laminé de départ.

Ni° (2µm)/Li° (24µm)/Electrolyte polymère (15µm)/Cathode composite (40µm)/Al (13µm).

10 L'électrolyte polymère de cet exemple est un copolymère de l'oxyde d'éthylène dans lequel un sel de lithium, le  $(CF_3SO_2)_2NLi$ , est dissous dans un rapport O/Li de 30/1. Les brevets copolymères (US Pat..... et US Pat.....) décrivent des exemples non-limitatifs de copolymères qui peuvent être utilisés pour le procédé de l'invention. Ces copolymères peuvent être  
15 réticulés au besoin par les moyens connus de l'homme de l'art.

Lorsqu'une pile est accidentellement mise en court-circuit, on constate que cette pile récupère sensiblement son voltage initial dans les secondes qui suivent par suite d'un phénomène d'auto-cicatrisation du  
20 lithium, vraisemblablement par dissolution électrochimique de ce dernier lorsque mis en contact avec l'électrode positive.

Dans quelques cas extrêmes où le voltage est lent à récupérer, on montre qu'il est possible de traiter l'arête fraîchement découpée avec un  
25 liquide réactif qui oxyde rapidement le lithium en un composé non-conducteur électronique.

L'alcool éthylique est utilisé dans le présent exemple, mais d'autres liquides réactifs peuvent également être utilisés selon la nature du composé  
30 de lithium oxydé que l'on désire obtenir pour assurer le bon fonctionnement du générateur.

### Exemple 3

On reproduit l'exemple 2 en utilisant cette fois-ci un électrolyte polymère gélifié par l'ajout de 30 % volumique de carbonate à un électrolyte polymère réticulé pour assurer les propriétés mécaniques du séparateur tout en optimisant la conductivité ionique de l'électrolyte à basse température. Les résultats obtenus sont sensiblement identiques à ceux de l'exemple précédent, malgré la présence d'un plastifiant liquide.

### 10 Exemple 4

A partir d'un laminé tel qu'illustré à la Figure 5 on prélève une pile de forme circulaire à partir d'un emporte-pièce de laboratoire. Le laminé comprend les éléments suivants:

15

Ni° (2 $\mu$ m)/Li° (24 $\mu$ m)/Electrolyte polymère (30 $\mu$ m)/Cathode composite (45 $\mu$ m)/Al (13 $\mu$ m).

20 Le laminé de départ est obtenu par enduction en continu de la cathode sur son collecteur et de l'électrolyte sur un support pelable suivi d'un transfert à chaud de l'électrolyte sur la cathode et pelage du support temporaire; on transfère ensuite l'anode de lithium avec son collecteur de nickel tel qu'obtenu à la Figure 4. Dans cet exemple, la cathode composite comprend de l'oxyde de vanadium, du noir de carbone et de l'électrolyte polymère comme liant. Le séparateur est constitué d'un copolymère de l'oxyde d'éthylène dans lequel un sel de lithium, le (CF<sub>3</sub>SO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>NLi, est dissous dans un rapport O/Li de 30/1.

30 Cette petite pile montre un voltage de 3.4 V en circuit ouvert après sa découpe à 25°C, soit sensiblement le voltage de la pile laminée-mère. A la Figure 10, on illustre la valeur du procédé de découpe/cicatrisation de l'invention en soumettant la pile de 7.7 C/cm<sup>2</sup> et de 6.5 cm<sup>2</sup> de surface à un cyclage répétitif à 60°C à courant constant et entre les limites de 3.3 et 1.5 volts. Ce test de cyclage peut être considéré comme un test extrême pour

déceler les points faibles engendrés par la découpe mécanique et qui se révéleraient lors des cycles successifs de décharge/charge.

- 5 Le comportement en cyclage est en tout point identique au comportement en cyclage du laminé de départ non-découpé à vif lorsque représenté proportionnellement par unité de surface.

Tableau 1

Numéro de la pile découpée	Voltage de la pile après découpe (volts)	Voltage de la pile 1 heure après découpe (volts)
1	3.279	3.390
2	0.002	3.034
3	3.411	3.432
4	3.425	3.446
5	3.340	3.385
6	3.409	3.431
7	3.407	3.435
8	0.001	3.215
9	2.703	3.137
10	3.397	3.410
11	0.000	3.144
12	3.387	3.422
13	2.613	2.934
14	3.396	3.420
15	3.356	3.387
16	3.374	3.415
17	3.414	3.439
18	3.328	3.382
19	2.760	3.251
20	3.321	3.378
21	2.807	3.278
22	2.733	3.259
23	3.301	3.254
24	2.788	3.297

## REVENDEICATIONS

1 - Procédé de fabrication de piles minces à électrolyte polymère et à anode de lithium ou de sodium dans lequel on fabrique des petites piles multiples par découpe mécanique à vif d'une pile-mère laminée de plus grande surface, au moins partiellement chargée, caractérisée:

en ce que la pile-mère comporte au minimum les films suivants:

- une anode de lithium métallique,
- un électrolyte polymère conducteur des ions alcalins de l'anode et agissant également comme séparateur entre les électrodes,
- une cathode composite constitué d'un composé réductible au lithium ou au sodium, d'un additif de conduction électronique et d'un liant électrolyte polymère,
- un revêtement conducteur électronique mince sur la face externe de l'anode et, optionnellement de la cathode, dont le matériau conducteur est chimiquement inerte vis-à-vis vis du matériau d'électrode et qui sert également à établir les contacts électriques permanents sur les faces externes des piles découpées,

en ce qu'elle est flexible, constituée de films adhérents entre eux et qu'elle est produite à partir de films continus assemblés par des procédés d'enduction, de dépôt et de transfert de films,

en ce que les piles ainsi découpées conservent sensiblement leur voltage après la découpe mécanique,

en ce que ces dernières peuvent être empilées individuellement ou après pliage en zigzag d'une section découpée, de façon à développer au besoin la surface effective des unités en parallèle et à monter le voltage de la série, la flexibilité du laminé permettant le pliage des piles sans court-circuit permanent,

et en ce que ces piles individuelles ou empilées en parallèle ou en série sont mises dans un sachet unique; la prise de contact étant faite à partir des faces externes des piles individuelles ou assemblées.

- 2 - Procédé selon la revendication 1 dans lequel l'épaisseur du revêtement conducteur de l'anode et optionnellement de la cathode est inférieur à 5 micromètres de façon à minimiser le poids et le volume et à conserver la flexibilité de l'ensemble de la pile laminée.
- 3 - Procédé selon la revendication 1, dans lequel le revêtement conducteur est un mince feuillard métallique à base de nickel ou de fer
- 4 - Procédé selon la revendication 1, dans lequel le revêtement conducteur est une composite comportant un liant polymère inerte et une charge conductrice électronique dispersée et inerte vis-à-vis du matériau d'électrode.
- 5 - Procédé selon la revendication 1, dans lequel le matériau conducteur est une poudre conductrice inerte au lithium comprenant les composés nitrures, carbures et borures métalliques, dans le cas de l'anode et comprenant également le carbone dans le cas du revêtement de la cathode.
- 6 - Procédé selon les revendications 4 ou 5 dans lequel le liant polymère inerte est un adhésif ou un thermo adhésif de façon à faciliter le positionnement des piles et la qualité des contacts électriques.
- 7 - Procédé selon la revendication 1 dans lequel la pile-mère laminée comporte un film de support pelable sur au moins une de ces faces de façon à faciliter sa production et sa manipulation.
- 8 - Procédé selon la revendication 7 dans lequel le film support pelable est constitué principalement de polypropylène ou de polyéthylène.
- 9 - Procédé selon la revendication 7 ou 8 dans lequel le support pelable est enlevé juste avant l'opération de découpe des piles.



- 10 - Procédé selon la revendication 1 dans lequel la pile-mère laminée est obtenue par des procédés d'enduction et de transfert et comprend au besoin des étapes de réticulation avant ou après le transfert des films.
- 11 - Procédé selon la revendication 1 dans lequel l'électrolyte polymère du séparateur et au besoin de l'électrode est constitué de masse moléculaire supérieure à 50,000 de façon à obtenir des films manipulables et transférables par des procédés de laminage en continu
- 12 - Procédé selon la revendication 1 dans lequel l'électrolyte polymère est gélifié par l'addition de solvants liquides aprotiques de façon à optimiser la conductivité ionique à la température ambiante.
- 13 - Procédé selon les revendications 1 à 12 dans lequel l'opération de découpe est effectuée mécaniquement au moyen d'outils de tranche ou d'emporte-pièce.
- 14 - Procédé selon les revendications 1 à 12 dans lequel l'opération de découpe est suivie d'une réaction chimique du lithium de l'arête découpée de façon à éliminer tout court circuit et à neutraliser l'activité électrochimique latérale.
- 15 - Procédé selon la revendication 14 dans lequel les réactifs chimiques utilisés pour oxyder le lithium de l'arête sont des liquides ou des gaz capables de former un composé du lithium isolant électrique et insoluble dans l'électrolyte polymère.
- 16 - Procédé selon la revendication 15 dans lequel les composés formés sont à base de carbonates, d'oxyanions, de fluor ou d'alcoolates.
- 17 - Procédé selon les revendications 1 à 16 dans lequel les piles découpées sont pliées en zigzag de façon à superposer un nombre impair d'unités de base et à terminer l'ensemble par des faces ayant des polarités opposées.

18 - Procédé selon la revendication 17 dans lequel les piles sont superposées de façon à effectuer une infinité de montages parallèle et série par simple empilement.

19 - Procédé selon les revendications 1 à 18 dans lequel les piles découpées sont mises individuellement ou par groupe dans un boîtier unique en utilisant les faces externes des piles et des ensembles pour assurer la collection du courant.

20 - Procédé selon les revendications 1 à 19 dans lequel le liant polymère inerte est non conducteur ionique et comprend des motifs monomères éthylène et propylène dont le polyéthylène, le polypropylène, l'EPDM ou également dans le cas de la cathode des monomères fluorés dont le PVDF.

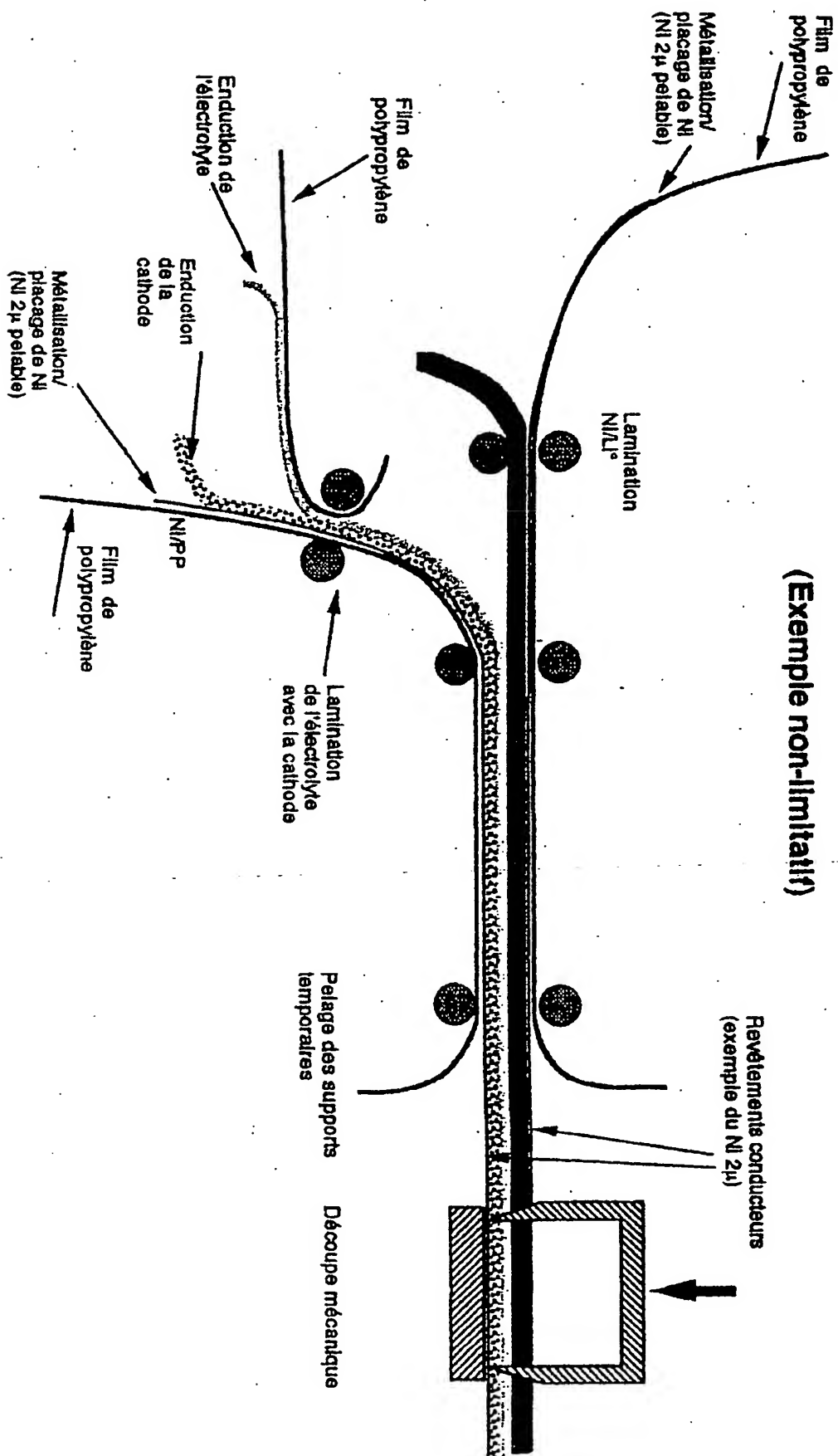
21 - Procédé selon les revendications 1 à 19 dans lequel le revêtement conducteur composite possède une conductivité latérale limitée de façon à limiter le courant de court-circuit lors de la découpe, pour des raisons de maintien de l'état de charge et pour la sécurité des opérations de découpe.

22 - Procédé selon les revendications 1 à 21 dans lequel une des électrodes de la pile laminée-mère comporte à intervalle des discontinuités de conductivité électronique dans le sens du laminé, soit en interrompant périodiquement le feuillard d'anode lors de l'assemblage du laminé, soit en interrompant périodiquement la cathode composite et son revêtement conducteur au besoin avant l'assemblage du laminé-mère.

**Figure 1**

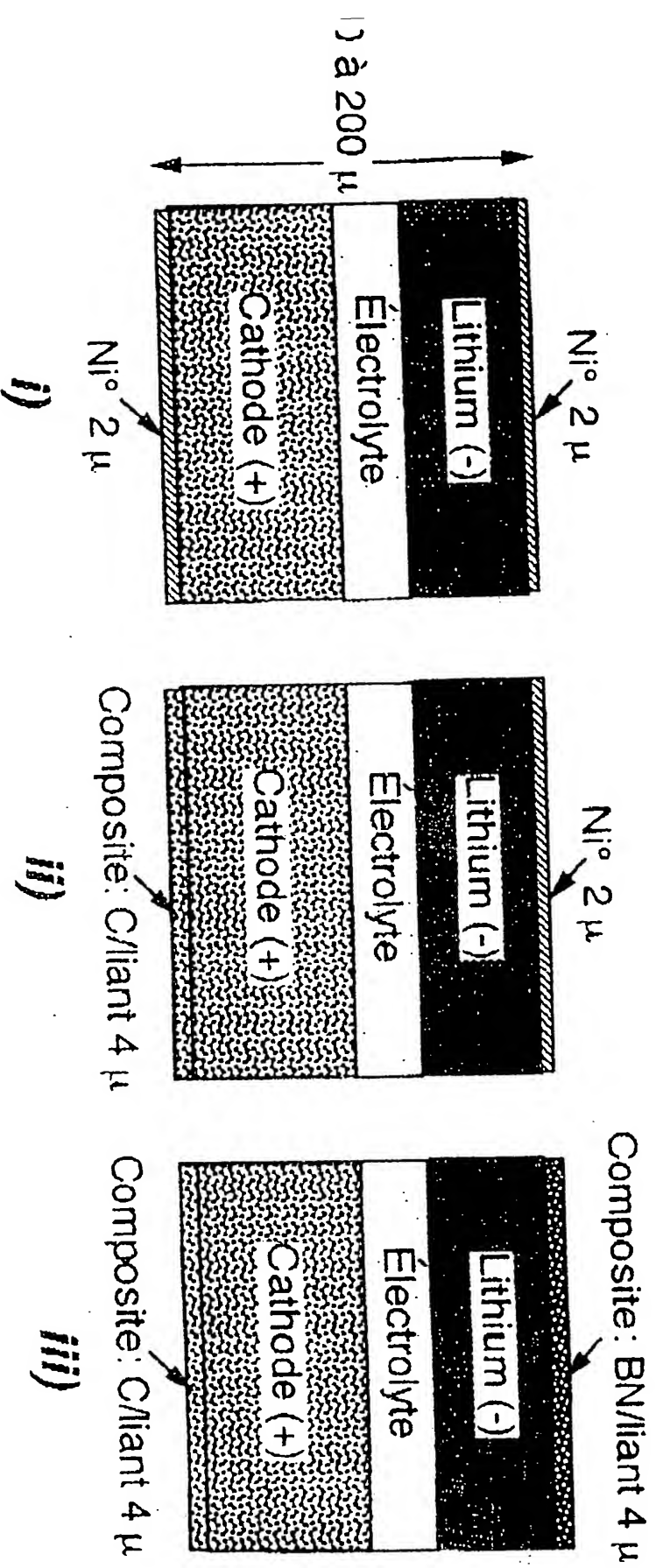
**Schéma d'un procédé de fabrication de la pile laminée-mère et de la découpe des piles**

**(Exemple non-limitatif)**



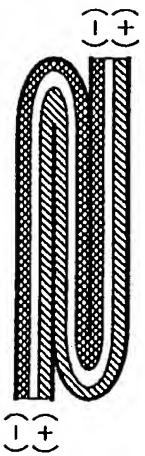
**Figure 2**

Piles découpées mécaniquement à l'emporte-pièce:  
(3 exemples de recouvrements conducteurs)



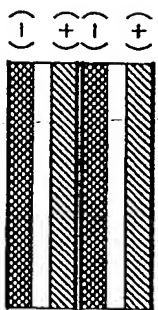
# Figure 3

Exemples de piles par empilement



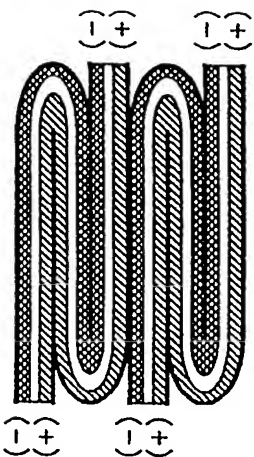
3 Volts

Assemblage parallèle



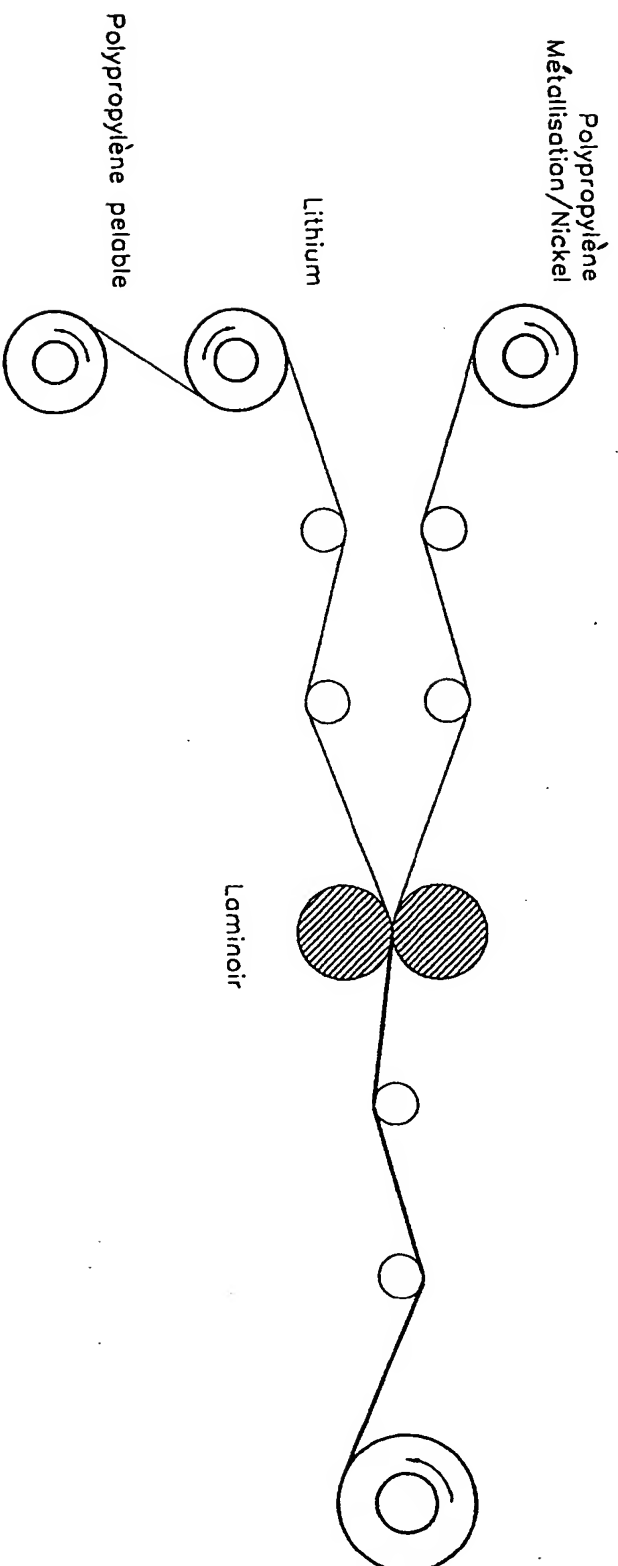
6 Volts

Assemblages séries



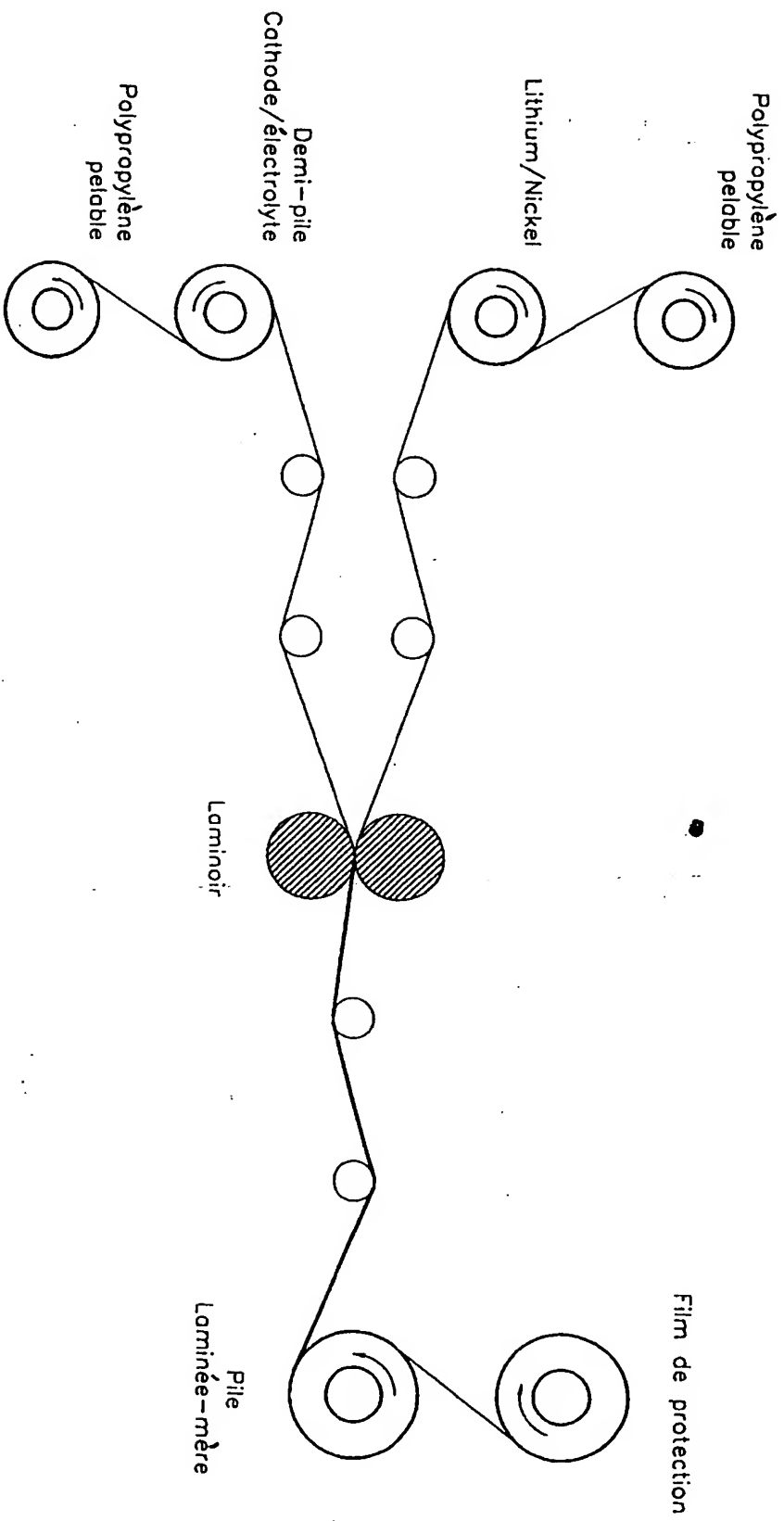
6 Volts

**Figure 4**  
Illustration du procédé lithium et de son revêtement nickel



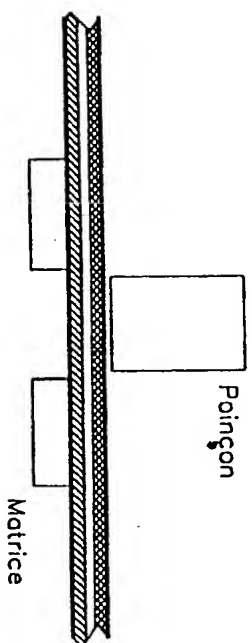
# Figure 5

Exemple de procédé de laminage de la pile laminée-mère



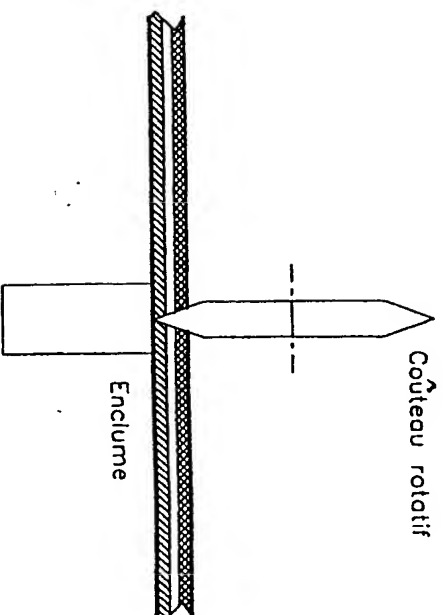
## Figure 6

Illustration du procédé de découpe de piles à l'empporte-pièce



## Figure 7

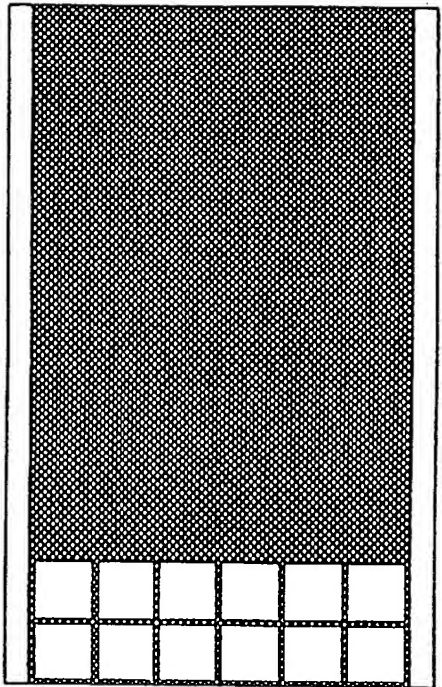
Illustration du procédé de découpe de piles en bandelettes



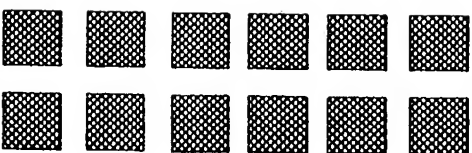


# Figure 8

Exemples de piles découpées mécaniquement

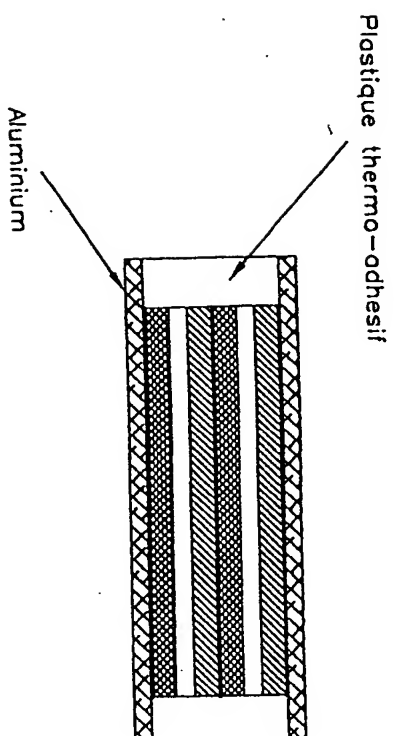


Laminé—mère

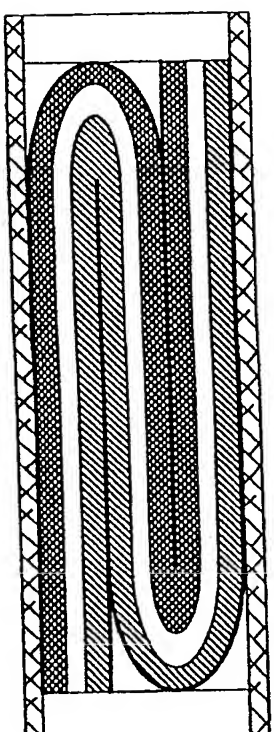


Piles découpées

Figure 9  
Exemples de piles emballées à voltage unitaire et à voltage multiple

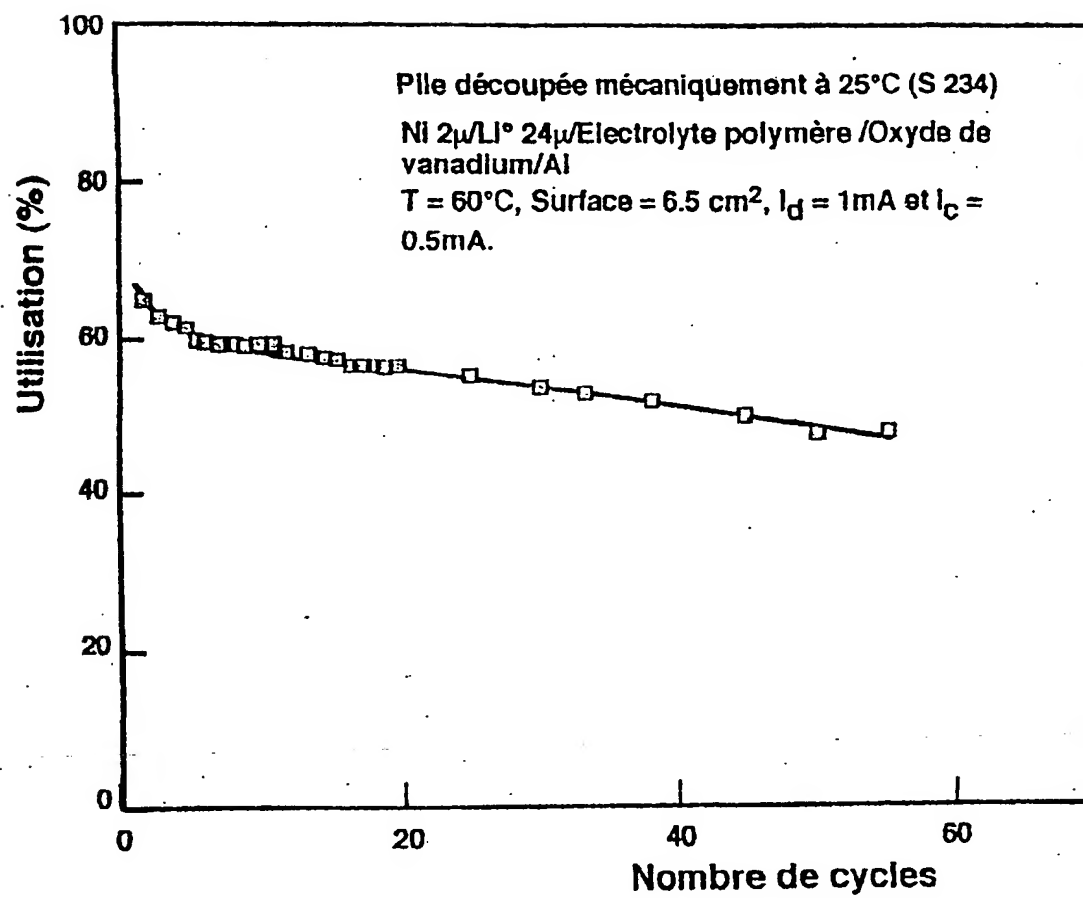


6 Volts



3 Volts

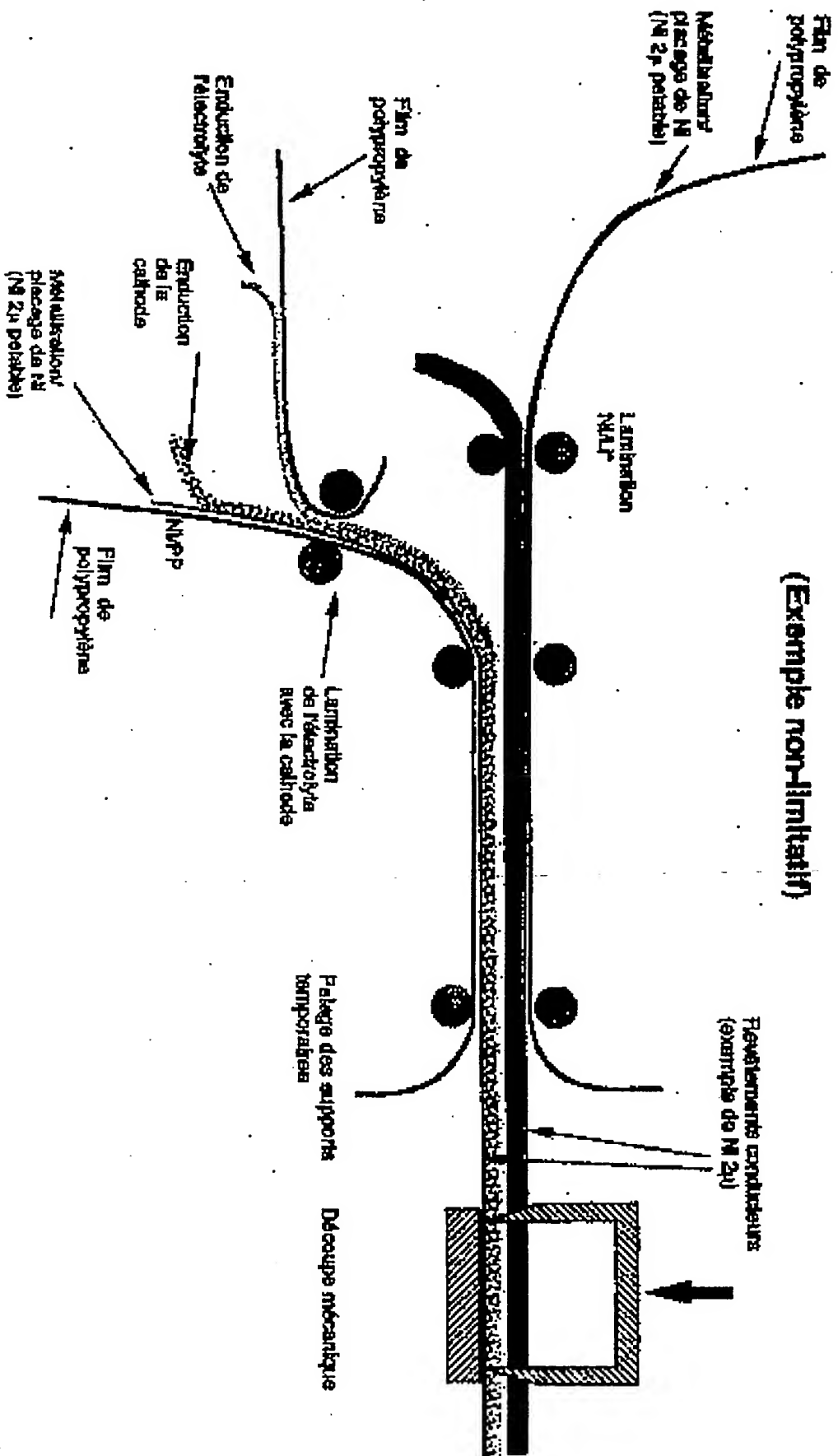
Figure 10





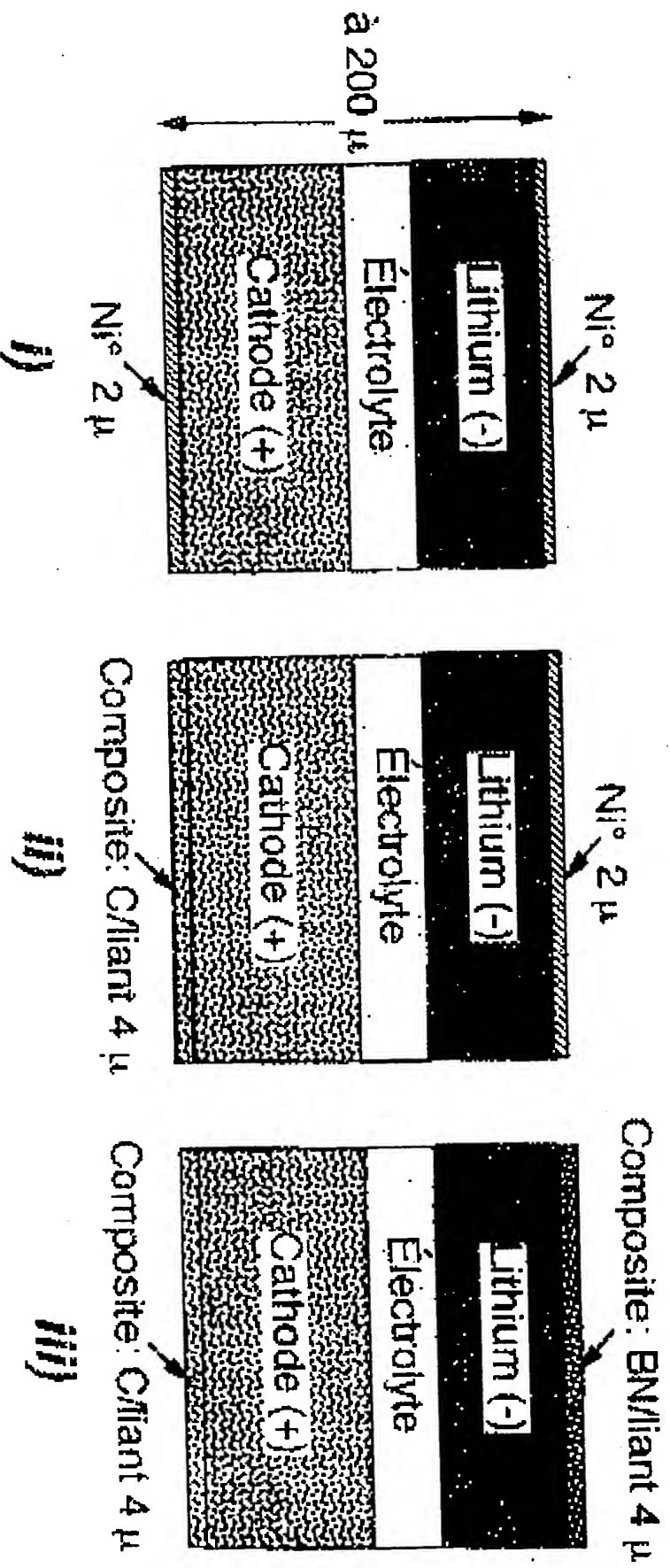
**Figure 1** Schéma d'un procédé de fabrication de la pile laminée-mère et de la découpe des piles

(Exemple non-limitatif)



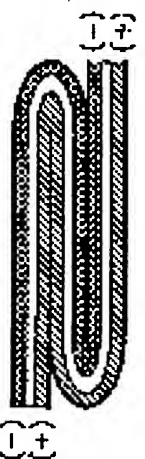
## Figure 2

Piles découpées mécaniquement à l'emporte-pièce:  
(3 exemples de recouvrements conducteurs)

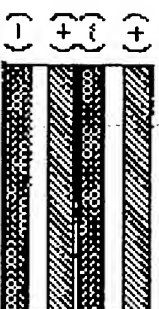


## Figure 3

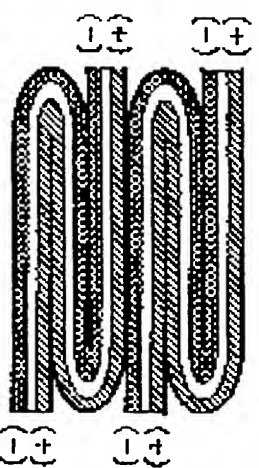
Exemples de piles par empilement



3 Volts



6 Volts



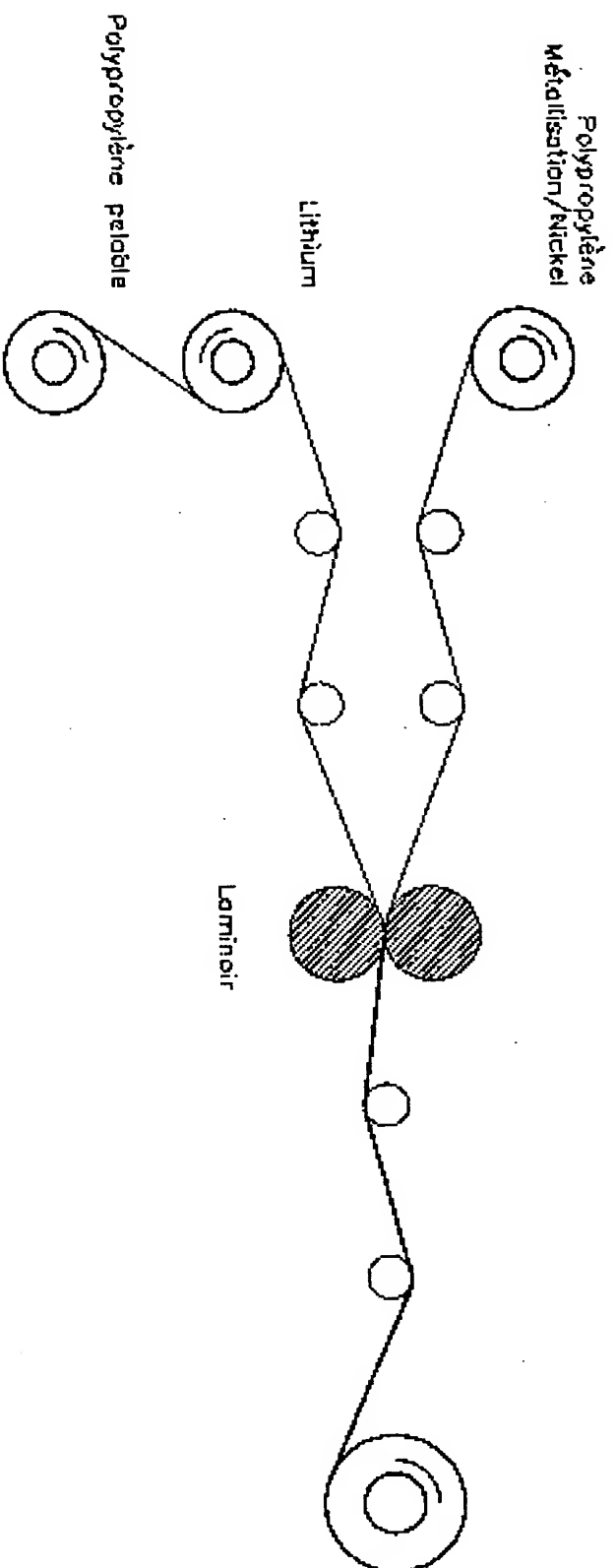
6 Volts

Assemblage parallèle

Assemblages séries

## Figure 4

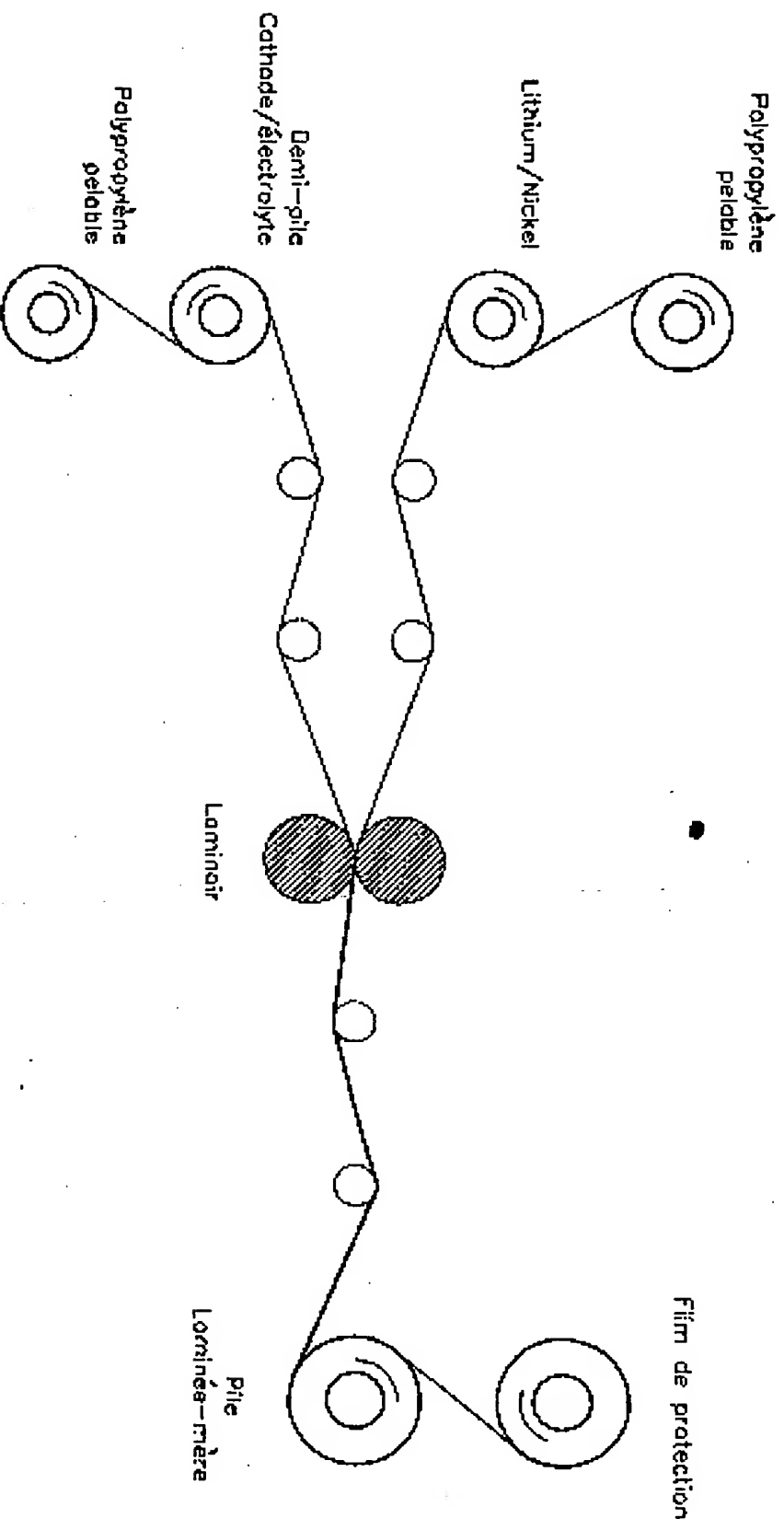
Illustration du procédé lithium et de son revêtement nickel





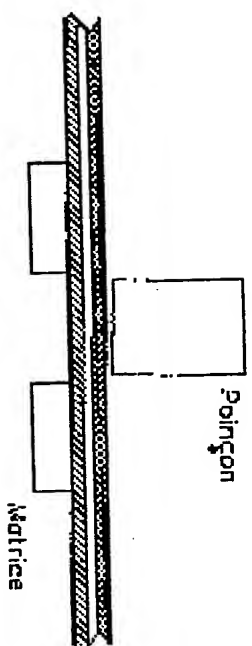
# Figure 5

Exemple de procédé de laminage de la pile laminée-mère



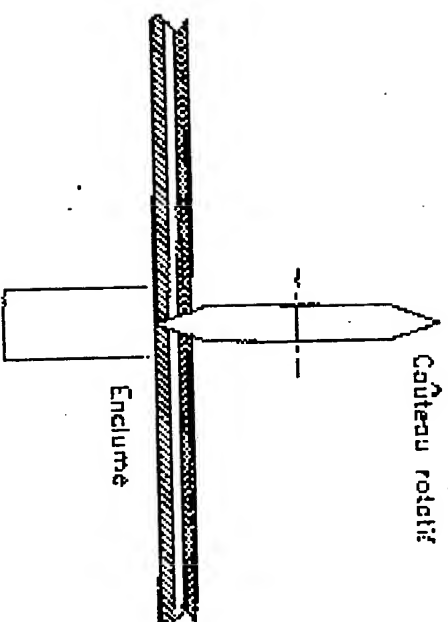
## Figure 6

Illustration du procédé de découpe de piles à l'emporte-pièce



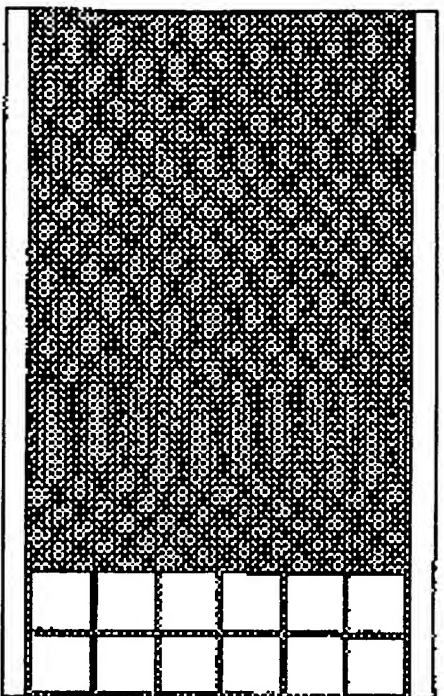
## Figure 7

Illustration du procédé de découpe de piles en bandelettes

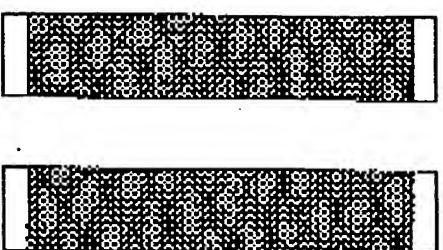
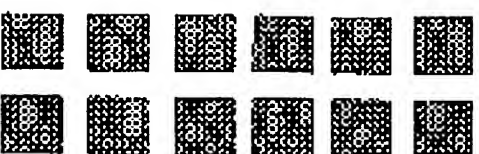


# Figure 8

Exemples de piles découpées mécaniquement:

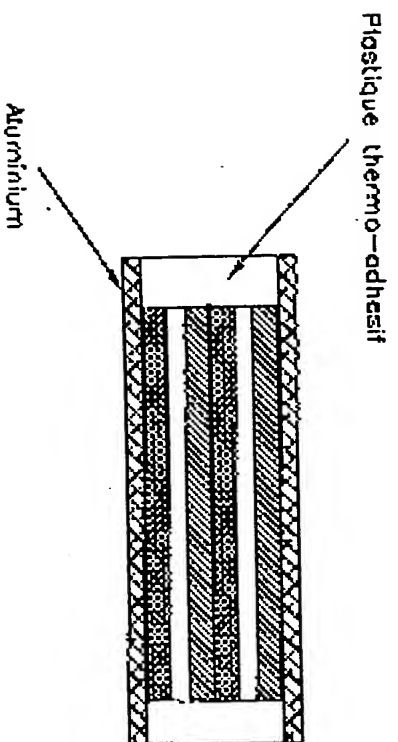


Laminé-mère

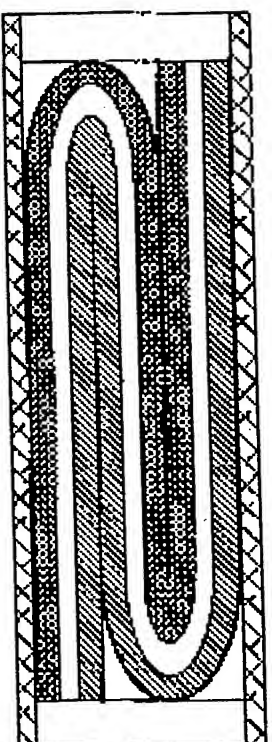


Piles découpées

Figure 9  
Exemples de piles emballées à voltage unitaire et à voltage multiple



6 Volts



3 Volts

Figure 10

